

Développement du système racinaire du cocotier en fonction du milieu en Côte d'Ivoire

M. POMIER (1) et X. BONNEAU (2)

Résumé. — La densité du système racinaire du cocotier a été estimée par la Station Marc-Delorme (Côte d'Ivoire) grâce à des prélèvements de cylindres de sol, à partir desquels ont été calculés des poids secs de racines par unité de volume de sol. Pour une même situation, les résultats obtenus avec les deux outils utilisés, pala-draga et tarière hollandaise, ne sont pas comparables. Le système racinaire du cocotier présente une variabilité intervariétale, et il s'adapte aux différentes conditions de milieu rencontrées : texture du sol, présence éventuelle d'un horizon induré, conditions d'humidité, niveau de fertilisation. La production d'une cocoteraie n'est pourtant pas liée de manière obligatoire à la densité de son réseau racinaire, d'où l'intérêt de s'intéresser également au fonctionnement des racines.

INTRODUCTION

Une nouvelle étude portant sur la répartition spatiale du système racinaire du cocotier a été entreprise par la Station Marc Delorme en Côte d'Ivoire à partir de 1984 dans le cadre du programme de recherche sur le bilan d'eau de la plante : il s'agissait de confronter les résultats des mesures de profils hydriques à la profondeur utile du système racinaire dans les principales régions de culture du cocotier en Côte d'Ivoire et d'examiner comment le système racinaire s'adaptait aux différentes contraintes du milieu telles que la texture des sols, la présence d'horizons gravillonnaires ou compactés, l'incidence d'une nappe phréatique et de ses fluctuations. Les méthodes d'observation mises au point à cette occasion ont été également utilisées pour mesurer l'effet d'autres facteurs, tels que la fertilisation et les différences variétales, et pourront servir à toute autre étude sur le système racinaire.

A ce jour, les études effectuées sur le système racinaire du cocotier sont peu nombreuses et se limitent à l'examen des racines de la couche superficielle du sol, rarement au-delà de 1 m, en raison des difficultés matérielles d'observation. La méthode descriptive la plus courante est de compter le nombre de racines par unité de surface verticale sur une tranche de sol et d'observer leur forme, leur couleur, leur degré de ramification [Avilan *et al.*, 1 ; Sen *et al.*, 8 ; Copeland, 2].

La méthode utilisée pour cette étude permet de quantifier les racines, en exprimant la densité racinaire en un point donné sous forme de poids sec par unité de volume de sol.

I. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

La méthode retenue consiste à prélever un volume de sol à une distance du stipe et à une profondeur données et à en extraire les racines qui sont ensuite lavées, triées,

séchées et pesées. L'unité de mesure est donc un poids sec de racines par unité de volume de sol : cette unité donne une idée de l'importance quantitative du réseau racinaire à cet endroit, mais ne mesure pas directement l'efficacité d'absorption.

1. — Matériel.

Deux outils ont été utilisés concurremment :

— *La pala-draga* [Ouvrier *et al.*, 6 ; Taillez, 9] : c'est un outil formé de deux lames semi-cylindriques reliées à deux manches qui par leur écartement provoquent la fermeture des lames à leur base. On creuse un trou par percussion en tournant l'outil d'un quart de tour à chaque percussion de façon à obtenir un cylindre le plus régulier possible (Fig. 1).

— *La tarière hollandaise* : cette tarière, fabriquée par Eijkelkamp en Hollande, est formée à sa partie terminale d'un cylindre ouvert à l'extrémité, à bord dentelé et à

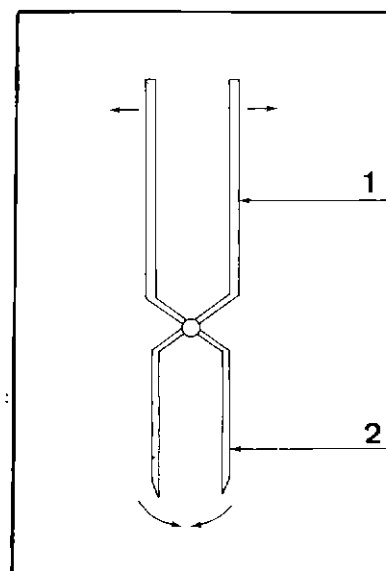


FIG. 1. — « Pala-Draga » :

(1) manche (*handle*) ; (2) lame semi-cylindrique (*semi-cylindrical blade*)

(1) Agronome IRHO-CIRAD. Service de l'Economie rurale, B.P. 100 Papeete (Polynésie française)

(2) Agronome IRHO-CIRAD. P.T. Multiagro Corp., Jalan IR.H. Juanda III/XIA, Djakarta (Indonésie)

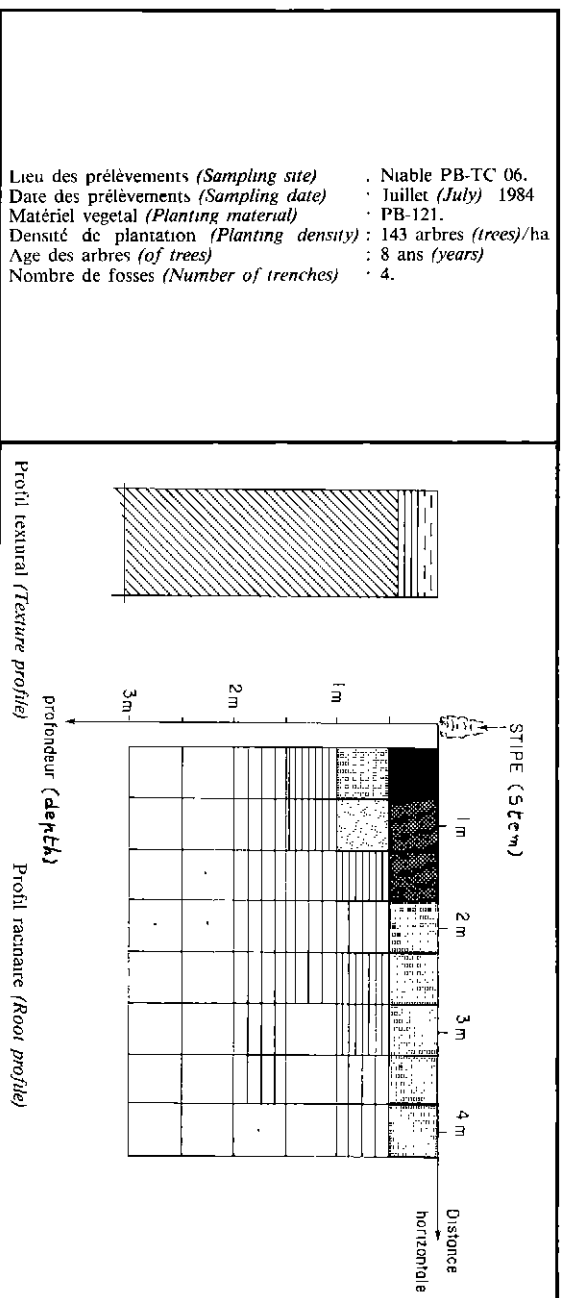
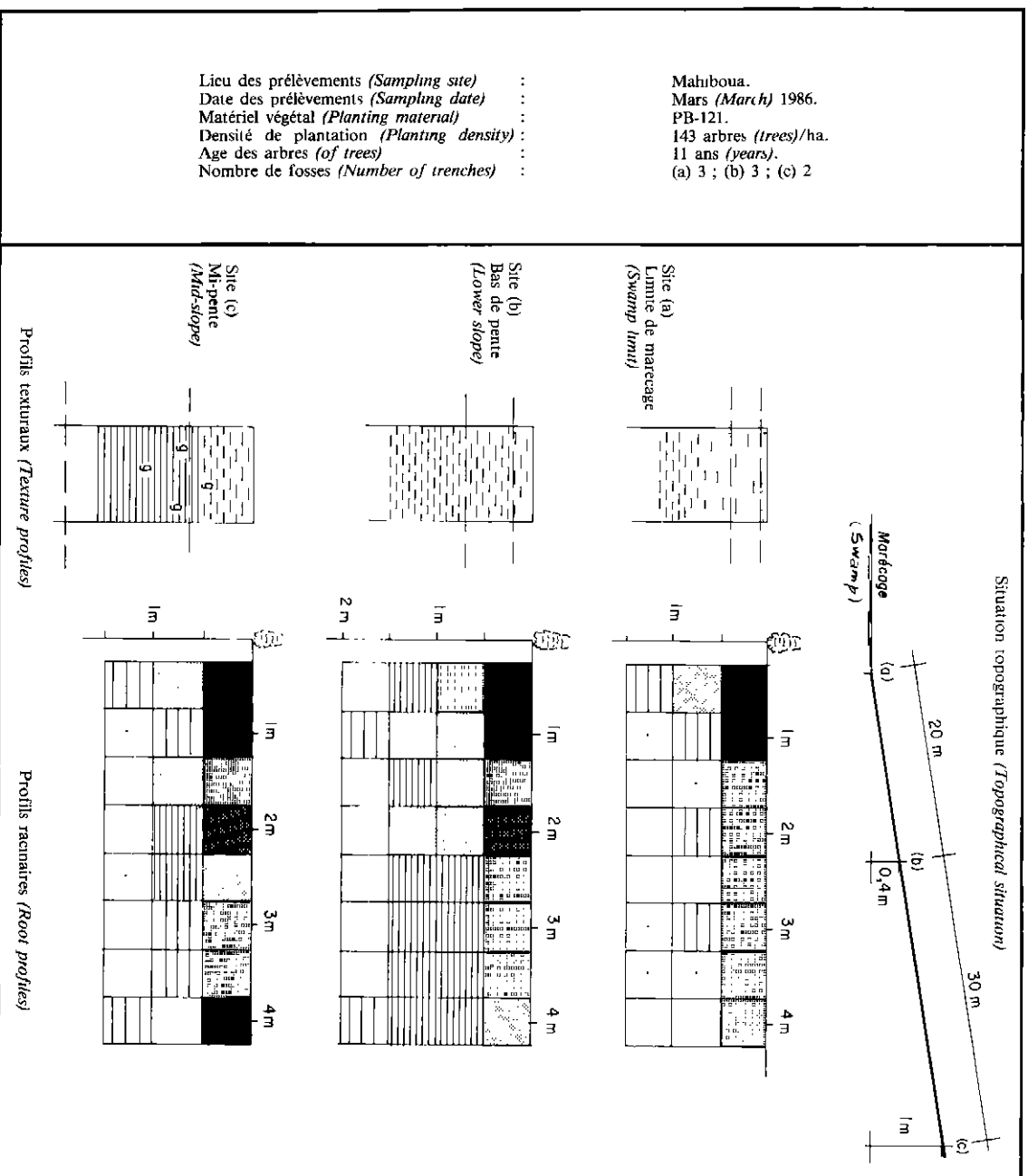


FIG. 7. — Profil racinaire du cocotier dans un sol ferrallitique - (*Coconut root profile in ferrallitic soil*) (Pala-draga)

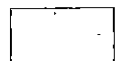
FIG. 8. — Profil racinaire du cocotier dans un bas-fond (*Coconut root profile in a bottomland*) (Pala-draga).



Légendes complémentaires des figures 5, 6, 7 et 8 (*Additional keys for figures 5, 6, 7 and 8*)Système racinaire (*Root system*). $5 \leq d$ d : poids sec de racines (g) par litre de sol (*dry weight of roots — g — per litre of soil*). $2,5 \leq d < 5$  $1 \leq d < 2,5$  $0,5 \leq d < 1$  $0,25 \leq d < 0,5$  $0,1 \leq d < 0,25$  $d < 0,1$

Les classes de densité de racines ont été établies en reliant la quantité de racines extraites du volume des échantillons à la disposition du réseau racinaire en place sur la tranche de sol considérée

(*Root density categories were determined by linking the quantity of roots extracted from the sample to the distribution of the root network found in the section of soil considered*).

Sol (*Soil*)Taux d'argile (*Amount of clay*) — % —

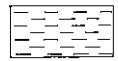
0 — 5%



5 — 10%



10 — 20%



20 — 30%



30 — 40%



> 40%

Nappe phréatique (*Water table*) :

— — — niveaux extrêmes de la nappe phréatique (début et fin de saison sèche) ;
(*extreme limits of the water table — beginning and end of the dry season*).

Éléments grossiers (*Coarse elements*)

g : gravillons (plus de 20 % du volume) (*gravel — more than 20 % of the volume*)
c : concrétions (*idem*).

Il faut noter que les deux méthodes d'étude ne sont pas directement comparables, en effet si les résultats sont rapportés à la même unité de volume, les densités de racines sur les échantillons de petit volume (tarière hollandaise) sont plus fortes que sur les échantillons de grand volume (pala-draga). Ce résultat n'est pas surprenant si l'on se réfère à Köpke [4] qui, en comparant cinq méthodes d'études de racines, a montré qu'elles donnaient toutes des résultats différents. En attendant d'élucider cette disparité, il est donc préférable de séparer les deux méthodes et de s'en tenir à des comparaisons à l'intérieur de chacune d'elles.

Pour le moment, la méthode pala-draga, telle qu'elle est appliquée, avec un volume d'échantillon plus grand, nous servira de référence quant à l'estimation de la densité réelle du réseau racinaire.

2. — Interprétation.

a) *Méthode pala-draga* : la comparaison des figures 5, 6, 7, 8 et l'examen du tableau II amènent aux conclusions suivantes, relativement aux différents facteurs du développement du système racinaire :

— *En conditions non limitantes*, les racines atteignent une profondeur de 4 m (cf. Tabl. II, colonne 10, lignes 2 et 10), et la proportion de racines superficielles (entre 0 et 50 cm) est environ de 50 p. 100 (Tableau II, colonne 11, lignes 1, 2, 3, 10, 11). Il est important de le noter car Ruer [7] ayant montré l'importance des racines superficielles dans l'alimentation hydrique du palmier, on peut supposer qu'elles jouent le même rôle pour le cocotier.

— *Influence de la nappe phréatique* : au Bloc 500 ha,

TABLEAU II. — Récapitulatif des sites étudiés par la méthode « pala-draga »
(Summary of sites studied using a pala-draga) (1984-1986)

					Nappe phréatique (<i>Water table</i>)					Racines (<i>Roots</i>)				
Lieu (<i>Site</i>) Essai (<i>Trial</i>)	Matériel végétal (<i>Planting material</i>)	Age des arbres (<i>Age of trees</i>) (ans - <i>years</i>)	Densité de plantation (<i>Planting density</i>) Nb're d'arbres (<i>of trees</i>)/ha	Nombre de fosses (<i>Nbre of trenches</i>)	Production moyenne des 3 à 4 campagnes précédentes (<i>Mean production of</i> <i>previous 3 to 4 campaigns</i>) (T coprah/ha)	Période de relevé (<i>Period recorded</i>)	Niveau le plus haut (<i>Highest level</i>) (cm)	Niveau en fin de saison des pluies (<i>Level at end of</i> <i>rainy season</i>) (cm)	Niveau le plus bas (<i>Lowest level</i>) (cm)	Profondeur atteinte (<i>Depth reached</i>) (cm)	Proportion de racines superficielles (<i>Proportion of</i> <i>superficial roots</i>) (%)	Coefficient d'extension latérale (<i>Coef. of lateral</i> <i>extension</i>) (%)	Poids total des échantillons (<i>Total weight of samples</i>) (g)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1 Bloc (<i>Block</i>) 500 PB-CC 44	PB-121	14	160	3	3,0	82-84	004(*)	420	581	> 300	< 59	12,9	1 010	
2 Bloc (<i>Block</i>) 500 PB-GC 05	PB-121	13	143	4	3,9	82-84	004(*)	400	425	> 350	< 43	22,4	840	
3 Station : parcelle (<i>plot</i>) S30	PB-121	23	160	4	3,8	83-86	145	220	385	300	38	17,3	1 729	
4 Niablé : PB-TC 06	PB-121	8	143	4	2,0	—	—	—	—	200	81	19,6	718	
5 Gregbeu : PB-TC 03	PB-121	11	143	4	2,0	—	—	—	—	250	63	7,9	640	
6 Bloc (<i>Block</i>) 500 Zone hydromorphe (<i>Waterlogged area</i>)	PB-121	14	160	1	non relevée (<i>not recorded</i>)	—	000(*)	—	200(?)	050	92	3,7	641	
7 Site Mahiboua (a) Moko	PB-121	11 10	143 143	3 4	} moyenne 3,4 (<i>mean</i>) 3,7	84-86	006 020	— —	039 096	050 050	92 92	41,8 33,5	519 (398)	
8 Site Mahiboua (a) Moko	PB-121	11 10	143 143	3 4		84-86	021 084	— —	072 137	150 150	79 67	9,8 28,7	920 (492)	
9 Site Mahiboua (a) Moko	PB-121	11 10	143 143	2 2		84-86	061 120	— —	186 170	100 100	92 86	64,4 16,6	590 (326)	
10 Bloc (<i>Block</i>) 500 PB-GC 05	GOA (<i>WAT</i>)	13	143	4	1,8	82-84	004(*)	400	425	> 350	< 54	19,4	1 239	
11 Station : parcelle (<i>plot</i>) 500	GOA (<i>WAT</i>)	32	143	4	non relevée (<i>not recorded</i>)	—	—	—	—	300	46	29,4	1 945	

— Colonne 1, lignes 7, 8 et 9 :

Les sites (a), (b) et (c) correspondent aux positions topographiques décrites sur la figure 8. On donne les chiffres relevés à Mahiboua, et ceux relevés à Moko, sur une bordure de bas-fond du même type

— Colonne 8 :

Le signe (*) indique un pic atteint par la nappe phréatique au cours d'une saison particulièrement pluvieuse. Cette situation temporaire (quelques jours) n'est pas représentative du battement de la nappe phréatique en situation normale

— Colonnes 11, 12, 13, 14 :

11 - Profondeur atteinte (cm) : on considère qu'il y a présence de racines lorsqu'au moins trois quarts des échantillons d'une couche de sol ont une densité de racines supérieure à 0,1 g/l de sol ;

12 - Proportion de racines superficielles (%) :

$$100 \times \frac{\text{Poids des échantillons de la couche 0-50 cm}}{\text{Poids des échantillons}} ;$$

13 - Coefficient d'extension latérale (%) :

$$100 \times \frac{\text{Poids des échantillons 04 et 05}}{\text{Poids des échantillons 01 et 02}} ;$$

14 - Poids total des échantillons (g) : somme des poids de tous les échantillons prélevés

— Column 1, rows 7, 8 and 9 :

Sites (a), (b) and (c) correspond to the topographical positions described in figure 8. The figures were recorded at Mahiboua and at Moko, bordering on a bottomland of the same type.

— Column 8 :

The asterisk (*) indicates a peak reached by the water table during a particularly rainy season. This is a temporary situation (a few days) and is not representative of water table variation under normal conditions.

— Columns 11, 12, 13, 14 :

11 - Depth reached (cm) : roots are considered to be present when at least three quarters of the samples of a soil layer have a root density over 0.1 g/l of soil ;

12 - Proportion of superficial roots (%) :

$$100 \times \frac{\text{Weight of 0-50 cm layer samples}}{\text{Total weight of samples}} ;$$

13 - Coefficient of lateral extension (%) :

$$100 \times \frac{\text{Weight of samples 04 and 05}}{\text{Weight of samples 01 and 02}} ;$$

14 - Total weight of samples (g) : sum of the weights of all the samples taken

b) Méthode tarière hollandaise.

— Niveau de fertilisation (Tabl. III-1, III-2).

Dans l'essai PB-CC 16, le traitement KIMgl (kg d'engrais/arbre/an) augmente le poids total de racines d'environ 50 p. 100 par rapport au traitement témoin KOMg0 (sans engrais) : ce sont surtout les grosses racines qui contribuent à ce résultat. Cette augmentation de poids est encore plus forte dans la couche superficielle (0-45 cm) où l'on compte 100 p. 100 d'augmentation. La fertilisation minérale favorise le développement végétatif de l'arbre, y compris celui des organes souterrains, en même temps qu'elle augmente la productivité (production moyenne des campagnes 1979-80 à 1982-83 sur les hybrides PB-121 de PB-CC 16 : traitement KOMg0 : 1,56 t de coprah/ha/an, traitement KIMgl : 3,24 t de coprah/ha/an).

Le tableau III-3 permet de dissocier l'effet des traitements en fonction de la distance au stipe et par conséquent en fonction de la zone d'épandage des engrais : la distance 1/4 (2,12 m) est en effet la limite de la couronne d'épandage. On constate que l'effet de la fertilisation est approximativement le même quelle que soit la distance, c'est-à-dire aussi bien en dehors de la couronne d'épandage qu'à l'aplomb de la couronne d'épandage : l'interaction engrais \times distance n'est pas significative. Cela montre que la fertilisation minérale provoque un développement général du système racinaire sans qu'il y ait une augmentation particulière du poids de racines à l'aplomb du lieu d'épandage.

— Variété (Tabl. IV-1, IV-2).

L'hybride Nain Jaune Malais \times Nain Vert Guinée Equatoriale a environ 25 p. 100 de racines en plus que l'hybride Nain Jaune Malais \times Nain Jaune Malais. Comme dans le cas précédent, l'augmentation de la quantité de racines porte surtout sur les grosses racines, mais cette fois l'augmentation est répartie sur tout le profil et non plus particulièrement dans l'horizon de surface. La productivité à l'hectare est de + 41 p. 100 en faveur du même hybride (leur productivité moyenne de 8 à 13 ans est de 3,8 t coprah/ha/an pour NJM \times NVE, et de 2,7 t coprah/ha/an pour NJM \times NJM). Cette concordance ne permet évidemment pas de conclure à une relation de cause à effet. Néanmoins, ce résultat rejoint celui obtenu par la méthode pala-draga (comparaison GOA/PB 121, cf. III, 2, a) : le système racinaire apparaît comme une caractéristique intrinsèque liée à l'écotype.

3. — Conclusions sur les méthodes d'observation.

La méthode pala-draga, bien que lourde à mettre en œuvre, a mis en évidence de nombreux phénomènes. Il

était nécessaire d'avoir cette base de données qui pourra servir de point de comparaison pour des études futures. La tarière hollandaise, simple, rapide et peu traumatisante pour les cocotiers, permet de mettre en évidence des différences de densité du réseau racinaire d'un traitement à un autre sur la même parcelle. Lorsqu'elle aura été définitivement étalonnée par rapport à d'autres méthodes (cf. III, 1) elle pourra être standardisée et étendue à des études du système racinaire dans d'autres pays sur le réseau expérimental de l'IRHO.

CONCLUSIONS

De l'ensemble des données recueillies on peut retirer que le système racinaire du cocotier réagit de façon très souple au milieu de croissance : des différences très nettes dans le poids total et la répartition des racines selon les conditions de milieu ont été mises en évidence. Il n'est pas possible au stade actuel de hiérarchiser l'influence de tous les facteurs du développement du système racinaire, mais l'on peut déjà noter que le cocotier est très sensible à la résistance mécanique du sol (texture, éléments grossiers), et à la présence d'une nappe phréatique.

Il faut noter que la production d'une cocoteraie n'est pas obligatoirement liée à la densité de son réseau racinaire. On a vu par exemple qu'en présence d'une nappe phréatique peu profonde, mais stable, le système racinaire était limité, mais la production n'était pas affectée. De plus, les facteurs limitant l'extension des racines n'ont pas le même effet suivant les conditions climatiques : ainsi, à potentiels chimiques de sol comparables, le sol argileux est moins bien colonisé qu'un sol sableux. Ce n'est pas un inconvénient s'il n'y a pas de déficit hydrique, mais en cas d'apparition d'une saison sèche, plus le volume exploré par les racines sera grand, moins vite se manifestera le stress hydrique.

La connaissance des relations entre le système racinaire et les caractéristiques du sol permettra aux pédologues et aux agronomes de disposer d'un critère supplémentaire de choix dans l'étude des projets de développement.

Pour exprimer l'efficacité réelle du système racinaire du cocotier, il est maintenant nécessaire de s'intéresser non seulement à la quantité de racines par unité de volume de sol mais aussi à la capacité d'absorption de ces racines pour l'eau et les éléments minéraux.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AVILAN L., RIVAS N., SUCRE N. (1984). — Estudio del sistema radical del cocotero (*Cocos nucifera* L.) (bilingue esp.-fr.). *Oléagineux*, 39, N° 1, p. 13-23.
- [2] COPELAND E. B. (1931). — *The Coconut*. Mc Millan, London.
- [3] IRHO (1986). — *Rapport interne* de Mme My Hanh (Physiologiste au CRHO-Vietnam) non publié.
- [4] KÖPKE U. (1981). — *Methods for studying root growth*. Landrium Brazil Fundação Instituto Agronomico de Panama, p. 303-318.
- [5] Mc CLAUGHERTY C. A., ABER J. D., MELILLO J. M. (1982). — The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*, 63, N° 5.
- [6] OUVRIER M., BRUNIN C. (1974). — Densités racinaires dans une cocoteraie industrielle et techniques d'épandage des engrais. *Oléagineux*, 29, N° 1, p. 15-17.
- [7] RUER P. (1969). — Système racinaire du palmier à huile et alimentation hydrique. *Oléagineux*, 24, N° 6, p. 327-330.
- [8] SEN L., KIKANI K. P., UGHREJA P. P., VALIA R. Z. (1983). — Root zone studies in coconut under Gujarat conditions. *Ind. Coconut J.*, XIV, N° 1.
- [9] TAILLIEZ B. (1971). — Le système racinaire du palmier à huile sur la plantation de San Alberto (Colombie) (bilingue fr.-angl.). *Oléagineux*, 26, N° 7, p. 435-447.

TABLEAU III. — PB-CC 16 : Comparaison du système racinaire d'arbres fertilisés (traitement K1 Mg1) ou non (traitement K0 Mg0) par la méthode tarière hollandaise
(Comparison of root system on fertilized — treatment K1 Mg1 — and unfertilized — treatment K0 Mg0 — trees using a Dutch auger).

Dispositif de prélèvement : — 12 arbres échantillonnés par traitement,
— axe des sondages : Nord-Sud (ligne de plantation),
— un sondage à 1/4 de distance entre deux arbres (2,12 m du centre du stipe),
— un sondage à 1/2 distance entre deux arbres (4,25 m du centre du stipe).

Sampling method : — 12 trees sampled per treatment,
— sampling direction : North-South (planting row),
— one sample a quarter distance between two trees (2.12 m from centre of stem),
— one sample a half distance between two trees (4.25 m from centre of stem).

— 1 —

- Poids de racines (*Weight of roots*) g/l de sol (*of soil*),
- Moyenne sur une couche de (*Mean for a layer from*) :
0 — 285 cm,
- Moyenne (*Mean of the*) 2 distances : 1/4 & 1/2.

	K0 Mg0	K1 Mg1
Racines totales (<i>Total roots</i>)	1,053 (100)	1,552** (147)
Racines grosses (<i>Thick roots</i>)	0,342 (100)	0,742 (217)
Racines fines (<i>Thin roots</i>)	0,711 (100)	0,810 (114)

— 2 —

- Poids de racines (*Weight of roots*) g/l de sol (*of soil*),
- Moyenne sur une couche de (*Mean for a layer from*) :
0 — 45 cm,
- Moyenne des (*Mean of the*) 2 distances : 1/4 & 1/2.

	K0 Mg0	K1 Mg1
Racines totales (<i>Total roots</i>)	1,591 (100)	3,378** (212)
Racines grosses (<i>Thick roots</i>)	0,516 (100)	1,480 (287)
Racines fines (<i>Thin roots</i>)	1,075 (100)	1,898 (176)

— 3 —

Interaction engrais/distance de prélèvement (*Fertilizer/ sampling distance interaction*).

- Poids de racines (*Weight of roots*) g/l de sol (*of soil*),
- Moyenne sur une couche de (*Mean for a layer from*) :
0 — 285 cm,
- Interaction non significative (*Interaction not significant*).

	d 1/4	d 1/2
K0 Mg0	1,129 (100)	0,777 (100)
K1 Mg1	1,643 (146)	1,460 (149)

- Poids de racines (*Weight of roots*) g/l de sol (*of soil*),
- Moyenne sur une couche de (*Mean for a layer from*) :
0 — 45 cm
- Interaction non significative (*Interaction not significant*).

	d 1/4	d 1/2
K0 Mg0	1,649 (100)	1,533 (100)
K1 Mg1	3,329 (202)	3,427 (224)

en zone hydromorphe, la déficience de la colonisation du sol par les racines est à relier à l'aspect chétif des arbres échantillonnés, dans une zone où la nappe d'eau stagnante affleure temporairement pendant la grande saison des pluies (Tabl. II, ligne 6). En zone de bordure de bas-fond, où la nappe d'eau est courante, les racines occupent préférentiellement la zone très superficielle, non hydromorphe, bien qu'on trouve des racines dans la zone aquifère (Fig. 8 ; Tabl. II, ligne 7). Dans les zones à nappe phréatique très proche de la surface, on n'a pas constaté d'effet négatif sur la production, qui reste aussi forte que dans les zones où la nappe est moins proche de la surface. Par con-

séquent si le battement de la nappe est contenu dans des limites stables, il suffit de quelques centimètres de sol hors d'eau toute l'année pour établir un système racinaire efficient : dans le cadre de l'étude, en zone de bordure de bas-fond en Moyenne Côte d'Ivoire, une nappe phréatique superficielle n'est pas un facteur limitant la production. Néanmoins une nappe phréatique très proche de la surface peut présenter des inconvénients tels que défaut d'ancrage des arbres ou risque d'inondation temporaire : quand on le peut, il vaut mieux cultiver les cocotiers dans des zones où la nappe ne remonte pas à moins de 20 cm de la surface, en l'occurrence au bas de la pente du coteau (Fig. 8).

TABLEAU IV. — PB-GC 04 : Comparaison du système racinaire de deux hybrides de Nains
(NJM × NJM et NJM × NVE) par la méthode tarière hollandaise

(Comparison of root system of two Dwarf hybrids — MYD × MYD and MYD × EGD — using a Dutch auger).

Dispositif de prélèvement (Sampling method) : cf. figure 4.

— 1 —			— 2 —		
<ul style="list-style-type: none"> • Poids de racines (<i>Weight of roots</i>) g/l de sol (<i>of soil</i>), • Moyenne sur une couche de (<i>Mean for a layer from</i>) : 0 — 285 cm, • Moyenne des 6 distances de prélèvement (<i>Mean of the 6 sampling distances</i>). 			<ul style="list-style-type: none"> • Poids de racines (<i>Weight of roots</i>) g/l de sol (<i>of soil</i>), • Moyenne sur une couche de (<i>Mean for a layer from</i>) : 0 — 45 cm, • Moyenne des 6 distances de prélèvement (<i>Mean of the 6 sampling distances</i>). 		
	NJM × NJM (MYD × MYD)	NJM × NVE (MYD × EGD)		NJM × NJM (MYD × MYD)	NJM × NVE (MYD × EGD)
Racines totales (<i>Total roots</i>)	0,795 (100)	1,014** (128)	Racines totales (<i>Total roots</i>)	1,802 (100)	2,220* (123)
Racines grosses (<i>Thick roots</i>)	0,251 (100)	0,407 (162)	Racines grosses (<i>Thick roots</i>)	0,599 (100)	0,896 (150)
Racines fines (<i>Thin roots</i>)	0,544 (100)	0,607 (112)	Racines fines (<i>Thin roots</i>)	1,203 (100)	1,324 (110)

— Influence de la texture du sol.

La dernière colonne du tableau II (poids total de racines échantillonnées) et la comparaison des figures 5, 6 et 7 montrent que dans le cadre de cette étude, le développement du système racinaire est d'autant plus faible que le sol est argileux : c'est ainsi que dans l'ordre décroissant de densité de racines par type de sol, on trouve :

- le sable quaternaire (0 p. 100 d'argile),
- le sable tertiaire (5 à 10 p. 100 d'argile),
- le sol ferrallitique de plateau (plus de 30 p. 100 d'argile dès les 50 premiers centimètres).

Il faut tenir compte aussi de l'âge des arbres (Tabl. II, colonne 2) mais compte tenu du fort taux de renouvellement des racines observé sur d'autres plantes [Clagherty *et al.*, 5] et de l'effet négligeable de l'âge des arbres sur le système racinaire [Sen *et al.*, 8], il est vraisemblable que ce facteur joue peu sur la quantité de racines, à l'âge adulte du moins.

La texture est donc un facteur déterminant dans l'extension du système racinaire du cocotier. Mais la contrainte opposée à l'extension des racines est due non pas à la granulométrie proprement dite, mais à la résistance qu'oppose le sol à la pénétration : ainsi dans le cas de Niable et Grebeu, il y a formation en saison sèche d'un horizon induré, typique des sols ferrallitiques, dû à la forte teneur en argile et à la précipitation d'oxydes de fer et d'aluminium. D'autres types d'argiles pourront jouer un rôle différent sur la structure du sol, ou bien un autre climat sans saison sèche n'occasionnera pas la formation d'un horizon peu pénétrable et les racines pourront s'étendre même en sol argileux.

Un autre exemple se trouve en bordure de bas-fond (Fig. 8) où l'on remarque à mi-pente (position (c)) un horizon argileux et gravillonnaire peu colonisé par les racines. Là aussi il faut attribuer à la fois à la texture, à la richesse du sol en oxydes de fer, aux éléments grossiers et à l'alternance des périodes humides et des périodes sèches la formation d'un horizon qui empêche les racines de s'étendre

en profondeur. La conséquence est qu'en saison sèche les racines n'atteignent pas la nappe phréatique et que les arbres souffrent de stress hydrique, contrairement à ceux situés plus bas (positions (a) et (b)). Ce schéma est conforme aux observations faites sur les plantations en bordure de bas-fond en fin de saison sèche : en remontant la pente, à partir d'un certain niveau et presque sans transition, les cocotiers présentent les symptômes du stress hydrique : feuilles basses cassées, couronnes moins chargées.

Outre les propriétés physiques, les propriétés chimiques du sol peuvent expliquer des différences importantes de développement racinaire. Ainsi dans le cas de cette étude, deux hypothèses sont possibles :

- plus la texture est argileuse, moins l'horizon est pénétrable par les racines (avec les nuances apportées précédemment). Il s'agit d'une résistance mécanique opposée par le sol aux racines de la plante ;

- plus le sol est pauvre chimiquement, plus grand est l'espace que les racines doivent explorer pour trouver les éléments nutritifs. C'est ainsi que dans le sable quaternaire lixivié, les cocotiers doivent investir plus de matière sèche dans leur système racinaire que dans des sols plus riches en bases échangeables tels que les sables tertiaires et surtout les argiles ferrallitiques de Moyenne Côte d'Ivoire.

Ces deux hypothèses peuvent d'ailleurs être complémentaires.

En résumé il faut considérer la texture du sol comme un facteur déterminant du développement du système racinaire, dans un contexte pédoclimatique donné.

— Influence de la variété.

Le tableau II (lignes 2 et 10, et lignes 3 et 11) montre que le GOA produit plus de racines que le PB-121 : une étude plus détaillée (sur PB-GC 05) sur la répartition par catégories a montré que le GOA, pour un poids de racines environ 1.5 fois supérieur au PB-121, avait 21 p. 100 de racines d'ordre III et IV contre 32 p. 100 au PB-121.

SUMMARY

The development of coconut root systems depending on environmental conditions in Côte d'Ivoire.

M. POMIER and X. BONNEAU, *Oléagineux*, 1987, 42, N° 11, p. 409-421.

The density of the coconut root system was estimated by the Marc-Delorme station (Côte d'Ivoire) using soil core samples, from which the dry weight of roots was calculated per unit of soil volume. For the same situation, the results obtained using two different instruments, a pala-draga and a Dutch auger, are not comparable. The coconut root system reveals inter-varietal variability and it adapts to the different environmental conditions encountered: soil texture, existence of a hardened horizon, moisture conditions, level of fertilization. However, the yields of a coconut grove are not necessarily linked to the density of its root system, hence it would now be useful to investigate how the roots function.

RESUMEN

Desarrollo del sistema radical del cocotero en función del medio ambiente en Côte d'Ivoire.

M. POMIER y X. BONNEAU, *Oléagineux*, 1987, 42, N° 11, p. 409-421.

La estación Marc-Delorme (Côte d'Ivoire) ha evaluado la densidad del sistema radical del cocotero, mediante tomas de muestras cilíndricas de suelo, en base a las cuales se calcularon los pesos secos de raíces por unidad de volumen del suelo. En una misma situación, los resultados logrados con las dos herramientas empleadas, o sea la paladraga y la barrena holandesa, no pueden compararse. El sistema radical del cocotero evidencia una variabilidad entre las diversas variedades, y se adapta a las varias condiciones del medio ambiente: textura del suelo, posible presencia de un horizonte endurecido, condiciones de humedad, nivel de fertilización. A pesar de ello, la producción de un cocotal no se relaciona necesariamente con la densidad de la red radical, de ahí que sea interesante estudiar también el funcionamiento de las raíces.

The development of coconut root systems depending on environmental conditions in Côte d'Ivoire

M. POMIER (1) and X. BONNEAU (2)

INTRODUCTION

As part of the research programme investigating the plant's water balance, a new study on the spatial distribution of coconut root systems was undertaken in 1984 by the Marc-Delorme Station in Côte d'Ivoire. The aim of the study was to compare the results of water profile measurements to the useful depth of the root system in the major coconut growing regions of the country and examine how the root system adapts to different environmental constraints such as soil texture, the existence of gravelly or compact horizons and the effects of a water table and its fluctuations. The observation methods developed during this study were also used to measure the impact of other factors, such as fertilization and varietal differences. These methods can be applied to all other root system studies.

To date, few studies have been carried out on the coconut root system and they are limited to an examination of the roots found in the surface horizon, i.e. rarely beyond 1 metre in depth, due to the practical difficulties involved in observation. The most common descriptive method is to count the number of roots per vertical surface unit within a section of soil and to observe their shape, colour and degree of branching [Avilan *et al.*, 1; Sen *et al.*, 8; Copeland, 2].

The method used here makes it possible to quantify coconut roots by expressing root density at a given point in terms of dry weight per unit of soil volume.

I. — EQUIPMENT AND METHODS

The method adopted consists in sampling a volume of soil at a given depth and a given distance from the stem and in extracting the roots, which are then washed, sorted, dried and weighed. The unit of measure is therefore dry weight of roots per volume of

soil: this unit gives an idea of the quantitative extent of the root network at this point but it does not directly measure uptake efficiency.

1. — Equipment.

Two tools were used at the same time.

A pala-draga [Ouvrier *et al.*, 6; Tailliez, 9]: an X-shaped instrument consisting of two semi-cylindrical blades attached to two handles which, when pulled away from each other, bring the blade tips together. A hole is dug by hammering the instrument into the ground, turning it a quarter turn on each blow so as to obtain as smooth a cylinder as possible (Fig. 1).

A Dutch auger: manufactured by Eijkelkamp in Holland, this instrument has an open-ended tooth-edged cylinder, inside of which slides a piston that pushes the soil sample out of the cylinder (Fig. 2).

2. — Sampling method.

Pala-draga: Samples were taken along the planting row between two trees, at given distances from the stems and at successive depths of 50 cm, as shown by the diagram in Figure 3. After each set of 8 samples, the layer of soil sampled is levelled down to the next depth and a new set of samples is taken. Sampling is stopped when no more roots are found in the samples or when a depth of 4 m is reached, as it becomes dangerous to dig any deeper in sandy soils. The volume of each sample is 20 litres (cylinder 50 cm long and 22.5 cm in diameter).

Dutch auger: Figure 4 gives the sampling method adopted for comparing the root systems of two Dwarf × Dwarf coconut hybrid varieties. Samples were taken at the quarter and halfway mark between two stems, in three directions, North-South and two others 120° from the first. The volume of each sample is 0.75 litres (cylinder 15 cm long and 8 cm in diameter), the depth reached was 285 cm. Contrary to the pala draga, there is no need to dig a trench using this instrument.

Of course, in both cases, the sampling methods can be adapted to specific circumstances.

(1) IRHO-CIRAD agronomist. Rural economy Service, B.P. 100 Papeete (French Polynesia).

(2) IRHO-CIRAD agronomist. P.T. Multiagro Corporation, Jalan IR H Juanda III/XIA, Jakarta (Indonesia).

3. — Number of trees sampled.

In an earlier study of the variation in the number of roots depending on 4 factors : the individual tree, sampling direction, distance from the stem and depth, the analysis of variance showed very highly significant differences for both the depth and stem distance factors, which is normal ; significant differences for the individual tree factor and no significant difference for the direction factor (unpublished report) [My Hanh, 3]. Hence, the quantity of roots varies much more from one tree to the next than from one sampling direction to the other on the same tree. Consequently, for a given overall number of samples (depending on the time devoted to the study), it is preferable to increase the number of trees sampled rather than the number of sampling directions per tree.

With the pala-draga, the method adopted is laborious, which means in real terms that the number of trees sampled is limited. In this study, 4 trenches were dug per site studied. It is clear therefore that the results obtained have no statistical value but only indicate general tendencies.

Using the Dutch auger, 10 trees observed per site and per treatment were enough to reveal significant differences between treatments (*cf.* Section III, Tables III, IV).

4. — Sample analysis method.

The roots contained in the volume of earth sampled were extracted by successive washing and sifting operations (2 mm sieve). This operation is quite simple because coconut roots have a low voluminal mass and separate quickly from the soil. Pieces of root that were smaller than the sieve mesh were recuperated in the recipient using a dip net at the end of operations. The sample obtained was sealed in a plastic bag and sent to the laboratory where it underwent initial sorting : dead roots, roots of weeds and decomposed organic matter were eliminated. The sample was then placed in a drying oven (24 hrs at 105 °C) after which it was sorted again, mainly to remove soil particles still stuck to the roots. Finally, the dried and purified roots were classified and weighed (to the nearest 0.01 g).

At the beginning of this study, the usual root categories were used [Ouvrier *et al.*, 6 ; Tailliez, 9], i. e. roots of class I, II, III and IV depending on the degree of branching. In practice however, it became apparent that these distinctions were difficult to make on bits of shed root. In effect, *in situ* observations showed that the morphological criteria used to determine root categories (diameter, colour, degree of lignification) are sometimes misleading. We therefore simplified root classification by dividing them into two groups : thick roots (which include category I and the large roots of category II) and thin roots (thin roots from category II, and those in categories III and IV).

II. — SITUATIONS STUDIED

In the coconut growing areas of Côte d'Ivoire, four major soil types can be identified for this crop :

1. — Lower Côte d'Ivoire :

— white leached quaternary sands along the coast consisting of more than 95 p. 100 coarse sand (such as the soils on plots running alongside the Bassam road at the Marc-Delorme Station) ;

— desaturated ferrallitic tertiary sands consisting of 10 to 20 p. 100 fine sand and 5 to 10 p. 100 clay (such as the soils on the 500-ha block along the edge of the lagoon at the Marc-Delorme Station).

2. — Middle Côte d'Ivoire :

— ferrallitic plateau soils, formed on ancient rock (schist or granite) with a high percentage of clay (up to 60 p. 100), often gravelly at lower depths (such as the soils at the Niable test point near Gagnoa) ;

— soils bordering on bottomlands, a mixture of sandy alluvial and clayey colluvial deposits (such as the soils of the Mahiboua toposequence near Gagnoa).

For each of these four soil types, a root system description is given in the next section. In addition, two studies carried out on tertiary sands using the Dutch auger are described ; these studies

compare the root systems of two varieties of coconut and those on fertilized and unfertilized trees.

Table I summarizes the characteristics of the situations studied, including the main factors involved in root system development.

III. — RESULTS AND DISCUSSION

1. — Results.

Pala-draga : Figures 5, 6, 7 and 8 show root system development in the four soil types described above.

Table II summarizes the principal data collected on all the sampling sites studied from 1984 to 1986.

Dutch auger : The results are given in Tables III and IV.

It should be noted that the two study methods are not directly comparable. In fact, if results are compared, for a same unit of volume, root densities in small volume samples (Dutch auger) are higher than those in large volume samples (pala-draga). This is not surprising in light of the study carried out by Köpke [4], who, by comparing five root study methods, showed that they all gave different results. Until this disparity has been cleared up, it is preferable to keep these two methods separate and only make comparisons within each one.

For the time being, the pala-draga method, as it was used here, with a larger volume soil sample, will serve as a reference to estimate the root system's actual density.

2. — Interpretation.

a) Pala-draga method : by comparing figures 5, 6, 7 and 8 and by examining Table II, the following conclusions can be drawn concerning the different factors involved in root system development :

— *Under non-limiting conditions* : roots reach a depth of 4 m (*cf.* Table II, column 10, rows 2 and 10) and the proportion of roots in the surface horizon (between 0 and 50 cm in depth) is about 50 p. 100 (*cf.* Table II, column 11, rows 1, 2, 3, 10 and 11). This is an important point in view of the research carried out by Ruer [7] who showed the importance of surface layer roots in the oil palm's water supply ; these roots probably play the same role in the coconut.

— *Effect of the water table* : In the 500-ha block, (waterlogged zone), the limited root exploration of the soil can be linked to the runty appearance of the sampled trees under conditions where the stagnant water table temporarily comes to the surface during the major rainy season (Table II, row 6). In zone bordering on bottomlands, **where the ground water is running water**, the roots tend to occupy the very superficial non waterlogged layer of soil, though they are found in the water bearing layer (Fig. 8 and Table II, row 7). In zones where the water table is very near to the surface, no negative effects were observed on production, which remains just as high as that in zones where the water table is deeper. Consequently, if water table fluctuations stay within stable limits, only a few centimetres of soil remaining above the water table year-round are needed for the development of an efficient root system. Hence from the results obtained in this study, in the zone bordering on bottomlands in Middle Côte d'Ivoire, a shallow water table is not a limiting factor on production. Nonetheless, a water table that is very near to the surface can give rise to drawbacks such as the lack of anchoring possibilities for the tree or the risk of temporary flooding. Where possible, therefore, it is better to grow coconuts in zones where the water table remains below the 20 cm level, i.e. on the lower slopes (Fig. 8).

— *Effect on soil texture* : The last column in Table II (total weight of sampled roots) and comparison of figures 5, 6 and 7 show that in this study, root system development decreases as clay content in the soil increases. Hence, in decreasing order of root density per soil type, there is :

- quaternary sand : 0 p. 100 clay,
- tertiary sand : 5 to 10 p. 100 clay,
- ferrallitic plateau soil : more than 30 p. 100 clay as early as the first 50 cm.

The age of the trees also has to be taken into account (Table II, column 2), but given the high root renewal rate observed on other plants [Clagherty, 5] and the negligible effect of tree age on the root system [Sen *et al.*, 8], it is probable that this factor has only a small impact on root quantity, at least at the adult age.

Soil texture is thus a determinative factor in the extension of the coconut root system. Nonetheless, the constraint limiting root extension is not strictly speaking the texture itself but the resistance of the soil to penetration. Hence in the case of Niable and Gregbeu, a hardened horizon forms during the dry season which is typical of ferralitic soils, due to the high clay content and the precipitation of iron and aluminium oxides. Other types of clay could have a different effect on soil structure, or other climates without a dry season would not lead to the formation of a little penetrable horizon, enabling root extension even in clayey soils.

Another example can be seen on soils bordering on bottomlands (Fig. 8), where, at mid-slope (position c) a clayey, gravelly horizon is observed which is little colonized by roots. Here again, the lack of root development can be attributed to texture, the richness of the soil in iron oxides, to coarse elements and to alternating wet and dry periods leading to the formation of a compact horizon which prevents roots from spreading downwards. The result is that during the dry season, the roots do not reach the water table and the tree suffers from water stress, which is not the case for those situated farther down the slope (positions a and b). This situation corresponds to observations made at the end of the dry season on plantations along bottomlands : as one goes up the slope, at a certain level and almost without transition, coconuts present symptoms of water stress, i.e. broken lower leaves and crowns with fewer nuts.

Apart from physical properties, the chemical properties of the soil can also explain considerable differences in root development. Hence in this study, two hypotheses are possible :

- the more clayey the texture, the less the horizon is penetrable by roots (with the above nuances taken into account). This is the mechanical resistance of the soil to the roots of the plant ;

- the poorer the soil chemically, the greater the volume of soil that has to be explored by the roots to find nutritive elements. Thus in leached quaternary sands, coconuts have to invest more dry matter in their root system than in soils richer in exchangeable bases such as the tertiary sands and especially the ferralitic clays found in Middle Côte d'Ivoire.

Moreover, these two hypotheses may prove to be complementary.

In brief, within a given pedo-climatic context, the texture of the soil has to be considered as a determinative factor in root system development.

— *Effect of variety* : Table II (rows 2 and 10 and rows 3 and 11) shows that the WAT produces more roots than the PB-121. A more detailed study of root distribution per category (on PB-GC 05) showed that the WAT, with roots weighing about 1.5 times more than those of the PB-121, had only 21 p. 100 in categories III and IV compared to 32 p. 100 for the PB-121.

b) Dutch Auger Method.

— *Effect of fertilizer* (Tables III.1, III.2) : In trial PB-CC-16, treatment K1Mg1 (kg fertilizer/tree/year) increases total root weight by about 50 p. 100 compared to the control K0Mg0 (without fertilizer). This increase is especially due to the large roots and is even more noticeable in the surface horizon (0-45 cm) where 100 p. 100 increases are observed. Mineral fertilization both encourages vegetative growth, including that of underground organs, whilst also increasing productivity (mean production for the 1979-80 to 1982-83 campaigns of PB-121 hybrids from PB-CC 16 was 1.56 t of copra/ha/yr for treatment K0Mg0 and 3.24 t of copra/ha/yr for treatment K1Mg1).

Table III.3 makes it possible to disassociate the effect of treatments, depending on the sampling distance from the stem and consequently on the size of the circle over which fertilizers are spread. The quarter mark (2.12 m) is in fact the limit of fertilizer

applications. It can be seen that the effect of fertilization is approximately the same, whatever the distance the roots are from the stem, i.e. both outside the application circle and within it, which means that the interaction between fertilizer and distance is not significant. This shows that mineral fertilization encourages overall root system development without there being a significant increase in the weight of the roots immediately below where the fertilizer is applied.

— *Effect of variety* (Tables IV.1, IV.2) : The Malayan Yellow Dwarf × Equatorial Guinea Green Dwarf hybrid had approximately 25 p. 100 more roots than the Malayan Yellow Dwarf × Malayan Yellow Dwarf hybrid. As in the preceding case, the increase in the number of roots mainly results from the fact that there are more large roots, but this time, the increase can be seen throughout the entire soil profile, and no longer in the surface horizon in particular. Productivity per ha is + 41 p. 100 higher in the case of the first hybrid (mean productivity from 8 to 13 years is 3.8 t of copra/ha/yr for the MYD × EGD and 2.7 t of copra/ha/yr for the MYD × MYD). These observations obviously do not make it possible to see a cause and effect relationship. Nonetheless, this result corresponds with that obtained using the pala-draga (WAT/PB-121 comparison, cf. III, 2, a) : the root system appears to be an intrinsic characteristic linked to ecotype.

3. — Conclusions on the observation methods.

The pala-draga method, although laborious, brought out numerous phenomena. It was necessary to obtain this data base which could be used as a point of reference in future comparative studies. The Dutch auger, which is simple and quick to use and which causes little disturbance to the coconuts, makes it possible to detect differences in root system density from one treatment to the next on the same plot. As soon as this method is fully standardized in relation to other methods (cf. III, 1), it could be applied to root system studies carried out in other countries within the IRHO experimental network.

CONCLUSIONS

On the whole, the data collected show that coconut root systems adapt well to different environmental conditions : very distinct differences in total weight and distribution depending on these conditions were revealed. At the present stage, it is impossible to rank the effects of all the factors involved in root system development, but it can be said that coconut is very sensitive to mechanical soil resistance (texture, coarse elements) and to the presence of a water table.

It should be noted that production in a coconut grove is not necessarily linked to root system density. In the case of a shallow but stable water table for example, it was seen that the root system is limited, but that production is not affected. Moreover, factors which limit root extension have different effects depending on climatic conditions. Hence, for comparable soils of chemical potential, clayey soil is less colonized by roots than sandy soil. This factor is not a problem if there is no water deficit, but if there is a dry season, the larger the volume explored by the roots, the less quickly water stress will occur.

Knowledge of how the root system relates to soil characteristics will provide soil scientists and agronomists with an additional criterion on which to base choices in development project studies.

To express the coconut root system's actual efficiency, it is now necessary to examine not only the quantity of roots per unit of soil volume but also the capacity of these roots to take up water and mineral elements.

